

***Roucheria monsalveae* A.H. Gentry: DESCRIPCIÓN ANATÓMICA,  
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y EXPERIENCIA EN EL EMPLEO DE UN  
MÉTODO NO DESTRUCTIVO**

**YOLIAN YOSÉD BUSTOS**

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al  
título de Ingeniero Forestal**

**Directora**

**ALEJANDRA MARÍA RAMÍREZ ARANGO  
M.Sc. en Ciencias de Productos Forestales**

**Codirector**

**JULIO CESAR BERMÚDEZ ESCOVAR  
M.Sc. en Ciencias e Ingeniería**

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL  
INGENIERÍA FORESTAL  
IBAGUÉ  
2018**

<b>COMITÉ DE INVESTIGACIONES</b>				
<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE GRADO</b>				
(Acuerdo Consejo de Facultad Ingeniería Forestal 355 de 2013)				
<b>TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO</b> <i>Roucheria monsalvae A.H. Gentry: descripción anatómica, propiedades físico-mecánicas y experiencia en el empleo de un método no destructivo</i>				
<b>NOMBRE DEL (LOS) ESTUDIANTE(S):</b> <i>Yolian Yosed Bustos</i>				
<b>DIRECTOR</b> <i>Alejandra M. Ramírez / Julio C. Bermúdez</i>				
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 1</b> <i>Angela M. Vazquez</i>				
<b>CALIFICACIÓN JURADO 1</b>	<b>Informe Escrito (65%)</b>	<i>3.9</i>	<b>Sustentación (35%)</b>	<i>4.3</i>
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 2</b> <i>Rosven L. Arevalo, Ph.D.</i>				
<b>CALIFICACIÓN JURADO 2</b>	<b>Informe Escrito (65%)</b>	<i>4.4</i>	<b>Sustentación (35%)</b>	<i>4.5</i>
<b>CALIFICACIÓN PONDERADA</b>		<b>Jurado 1</b>	<i>4.0</i>	<b>Jurado 2</b>
			<i>4.6</i>	
<b>CALIFICACIÓN FINAL</b>	<i>4.2</i>	<b>Reprobado</b>		<b>Aprobado</b>
<b>Sobresaliente</b>	<i>X</i>	<b>Meritorio</b>		<b>Laureado</b>
<b>RANGOS DE EQUIVALENCIA:</b> Calificación menor de tres cero (3.0) Calificación entre tres cero (3.0) y tres nueve (3.9) Calificación entre cuatro cero (4.0) y cuatro cuatro (4.4) Calificación entre cuatro cinco (4.5) y cuatro nueve (4.9) Calificación de cinco cero (5.0)				
<b>REPROBADO</b> <b>APROBADO</b> <b>SOBRESALIENTE</b> <b>MERITORIO</b> <b>LAUREADO</b>				
<b>OBSERVACIONES</b>				

<b>FIRMAS</b>	
<b>NOMBRE Y FIRMA JURADO 1</b> <i>Angela M. Vazquez</i>	<b>NOMBRE Y FIRMA JURADO 2</b> <i>Rosven L. Arevalo</i>
<b>COORDINADOR INVESTIGACIONES</b> <i>Yolian Yosed Bustos</i>	

<b>CIUDAD:</b> <i>Ibagué</i>	<b>FECHA DE SUSTENTACIÓN:</b> <i>Abril 18/2018</i>
------------------------------	--

## DEDICATORIA

*“Algún día en cualquier parte, en cualquier lugar indefectiblemente te encontrarás a ti mismo, y ésa, sólo ésa, puede ser la más feliz o la más amarga de tus horas”*

**Pablo Neruda**

### **A mi madre.**

Por ser el pilar fundamental de lo que soy, por la motivación constante que me ha traído hasta aquí, pero más que todo por su amor incondicional mantenido a través del tiempo.

### **A la familia Zambrano Flores.**

Por permitirme encontrar el calor de una familia cuando estuve lejos de mi hogar.

### **A la familia Rodríguez Serna.**

Por abrirme las puertas de su hogar y estampar en mí una sonrisa.

### **Al Laboratorio de la Tecnología de la Madera de la Universidad del Tolima**

Por qué encontré un escape a estos tiempos desconocidos, compañeros de un mundo de aprendizaje y un reflejo de como quiero ser.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia.

A mi directora y codirector de tesis.

Al ingeniero Alberto Londoño Arango.

A Carol Fajardo.

Al Centro Forestal Tropical Pedro Antonio Pineda de la Facultad de Ingeniería Forestal.

Y a otras personas que influyeron en mis decisiones y por lo tanto en la terminación de esta tesis.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1 <i>Roucheria monsalveae</i> A.H. Gentry (LINACEAE)	15
2.2 ANATOMÍA DE LA MADERA	16
2.3 PROPIEDADES FÍSICAS	18
2.3.1 Contenido de humedad	18
2.3.2 Densidad	19
2.3.3 Cambios dimensionales	20
2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS	21
2.4.1 Factores que inciden sobre las propiedades mecánicas	21
2.4.2 Carga y esfuerzo	21
2.4.3 Deformación y ley de Hooke	22
2.4.4 Principales esfuerzos mecánicos	23
2.5 MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS	24
2.5.1 Ensayos no destructivos	25
2.5.2 Pruebas acústicas	25
2.6 VARIACIÓN NORMAL DE LOS ENSAYOS	26
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>28</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	28
3.2 MATERIAL DE ESTUDIO	29
3.2.1 Selección de la especie	29

3.2.2	Obtención del material de ensayo	29
3.2.3	Identificación botánica	30
3.2.4	Adecuación y preparación del material	30
3.2.5	Equipos requeridos	30
3.3	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS	31
3.4	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS	32
3.4.1	Contenido de humedad	32
3.4.2	Densidad	33
3.4.3	Cambios dimensionales	33
3.4.4	Punto de saturación de las fibras	33
3.5	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	33
3.6	PRUEBA NO DESTRUCTIVA	34
3.6.1	<i>TreeSonic Microsecond Timer</i>	34
3.6.2	Prueba ultrasónica	34
3.6.3	Corrección de tiempo	35
3.6.4	Contenido de humedad y densidad	36
3.6.5	Determinación del módulo de elasticidad dinámico	36
3.7	AJUSTE AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD	37
3.7.1	Ajuste de las propiedades mecánicas	37
3.7.2	Ajuste de la densidad	37
3.7.3	Ajuste de la velocidad de la onda	38
3.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
4.	<b>RESULTADOS</b>	39
4.1	DESCRIPCIÓN ANATÓMICA	39
4.2	PROPIEDADES FÍSICAS	44
4.3	PROPIEDADES MECÁNICAS	46
4.3.1	Flexión estática	47
4.3.2	Compresión paralela a las fibras	48
4.3.3	Compresión perpendicular a las fibras	48
4.3.4	Cizallamiento	49

4.3.5 Dureza	49
4.4 TÉCNICA DE ULTRASONIDO	50
4.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD: ESTÁTICO VS DINÁMICO	51
5. CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	70

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág</b>
<b>Tabla 1.</b> Coeficientes de variación máximos admisibles para las propiedades evaluadas.	27
<b>Tabla 2.</b> Aumento promedio de las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad.	37
<b>Tabla 3.</b> Características anatómicas diagnósticas de la especie <i>R. monsalveae</i> .	43
<b>Tabla 4.</b> Estadísticos de posición central y de dispersión de las propiedades físicas de la madera de <i>R. monsalveae</i> .	44
<b>Tabla 5.</b> Estadísticos de posición central y de dispersión de las propiedades mecánicas de la madera de <i>R. monsalveae</i> .	46
<b>Tabla 6.</b> Estadísticos de la velocidad (V) y el módulo de elasticidad dinámico (Ed) obtenidos por el método no destructivo en la madera de <i>R. monsalveae</i> .	50



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama idealizado de la curva carga-deformación.	23
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del área de estudio.	28
<b>Figura 3.</b> Equipos utilizados en el estudio de la madera de <i>R. monsalveae</i> .	31
<b>Figura 4.</b> Posicionamiento de los transductores en la prueba de ultrasonido.	35
<b>Figura 5.</b> Imágenes macroscópicas de la madera de <i>R. monsalveae</i> (1:1).	40
<b>Figura 6.</b> Plano transversal de la madera de <i>R. monsalveae</i> .	41
<b>Figura 7.</b> Elemento vascular de la madera de <i>R. monsalveae</i> .	41
<b>Figura 8.</b> Plano tangencial de la madera de <i>R. monsalveae</i> .	42
<b>Figura 9.</b> Plano radial de la madera de <i>R. monsalveae</i> .	43
<b>Figura 10.</b> Gráfico de dispersión. Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad dinámico en cara.	52
<b>Figura 11.</b> Gráfico de dispersión. Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad dinámico en canto.	52